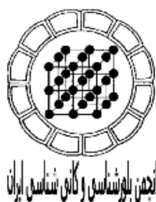
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی‌ام، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۱، از صفحهٔ ۲۵۳ تا ۲۶۶



[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.5.1]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.253]

بررسی کانی‌سازی و میانبارهای سیال ذخیره مس لپه‌زنک، پهنه البرز مرکزی، ایران

لیلی فتح اله‌پور[1]، علی عابدینی[*1]، حسینعلی تاج الدین[2]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۶/۶، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۷/۲۸)

چکیده: ذخیره مس لپه‌زنک، در ۱۵ کیلومتری شرق تهران و بخش جنوبی پهنه البرز مرکزی واقع است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در گستره این ذخیره شامل یک توالی از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری (بازالت، آندزیت، تراکی‌آندزیت و توف داسیتی و شیشه‌ای) مربوط به سازند فجن به سن پالئوسن- ائوسن پیشین هستند که با توده‌های آذرین نیمه عمیق با ترکیب میکرومونزودیوریت- گابرو قطع شده‌اند. کانی-سازی مس در این ذخیره، به صورت رگه-رگچه‌های کوارتزی (کربنات و باریت) همراه با دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک، کربناتی و پروپیلیتیک در سنگ‌های آندزیت — تراکی‌آندزیت رخ داده است. ساخت‌ها و بافت‌های رگچه‌ای و برشی در کانسنگ مس‌دار این ذخیره بسیار رایج هستند. کانی‌شناسی کانسنگ ساده و شامل کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت و روتیل است که با کانی‌های ثانویه چون دیژنیت، کوولیت، مالاکیت و ترکیب‌های هیدروکسیدی آهن همراهی می‌شوند. بررسی میانبارهای سیال برای کانی‌های کوارتز و باریت موجود در کانسنگ مس‌دار و رگه‌های باریت نشان می‌دهد که بیشتر میانبارهای اولیه از نوع دو فازی غنی از مایع (L+V) هستند. بر پایه بررسی‌های ریزدماسنجی، دمای همگن شدگی میانبارهای اولیه در کوارتز و باریت به ترتیب ۱۰۰ تا ۱۹۸ و ۱۱۰ تا ۲۰۷ درجه سانتی‌گراد است. شوری در میانبارهای اولیه این دو کانی به ترتیب گستره تغییراتی از ۰٫۸۸ تا ۸٫۵۵ و ۴٫۹۶ تا ۷٫۸۶ درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال، سردشدن و رقیق‌شدگی سیال‌های گرمابی با آب‌های جوی دلایل اصلی نهشت کانی‌ها در ذخیره مورد بررسی هستند. نتایج بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی و بررسی میانبارهای سیال نشان می-دهند که ذخیره لپه‌زنک بیشترین شباهت را به کانسارهای نوع فراگرمایی سولفیدشدگی پایین - متوسط دارد.

واژه‌های کلیدی: *لپه‌زنک؛ ذخیره مس؛ فراگرمایی؛ میانبارهای سیال؛ پهنه البرز مرکزی.*

مقدمه

پهنه ساختاری - رسوبی البرز شامل بلندی‌های شمال صفحه ایران است که به شکل تاقدیسی مرکب، در راستای کلی شرقی- غربی از آذربایجان تا خراسان گسترش دارد. از نظر زمین‌ریخت‌شناسی، مرز شمالی البرز منطبق بر تپه ماهورهای دربردارنده نهشته‌های پالئوژن و دشت ساحلی خزر است. از دید زمین‌شناسی، مرز شمالی پهنه البرز محدود به زمین‌درز تتیس کهن است. مرز جنوبی البرز چندان مشخص نبوده و مرز آن با پهنه ایران مرکزی تدریجی است [1]. پهنه البرز به بخش‌های مختلف تقسیم شده و پهنه البرز مرکزی مجموعه‌ای از این ساختار بوده که در معرض رخدادهای زمین‌شناسی آن قرار داشته است [2]. اغلب ذخایر مس ایران در دوره پالئوژن و در ارتباط با سنگ‌های ماگمایی تشکیل شده‌اند [1]. فازهای ماگمایی و کانی‌سازی‌های مهم مس پالئوژن اغلب در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی رخ داده‌اند [3]. در ارتباط با کانه‌زایی مس در پهنه ساختاری — رسوبی البرز می‌توان به پهنه البرز غربی (طالقان - طارم) اشاره کرد. حضور کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در پهنه البرز غربی نشان دهنده امکان بالای کانه‌زایی در این پهنه است. از نشانه‌های معدنی مس در این

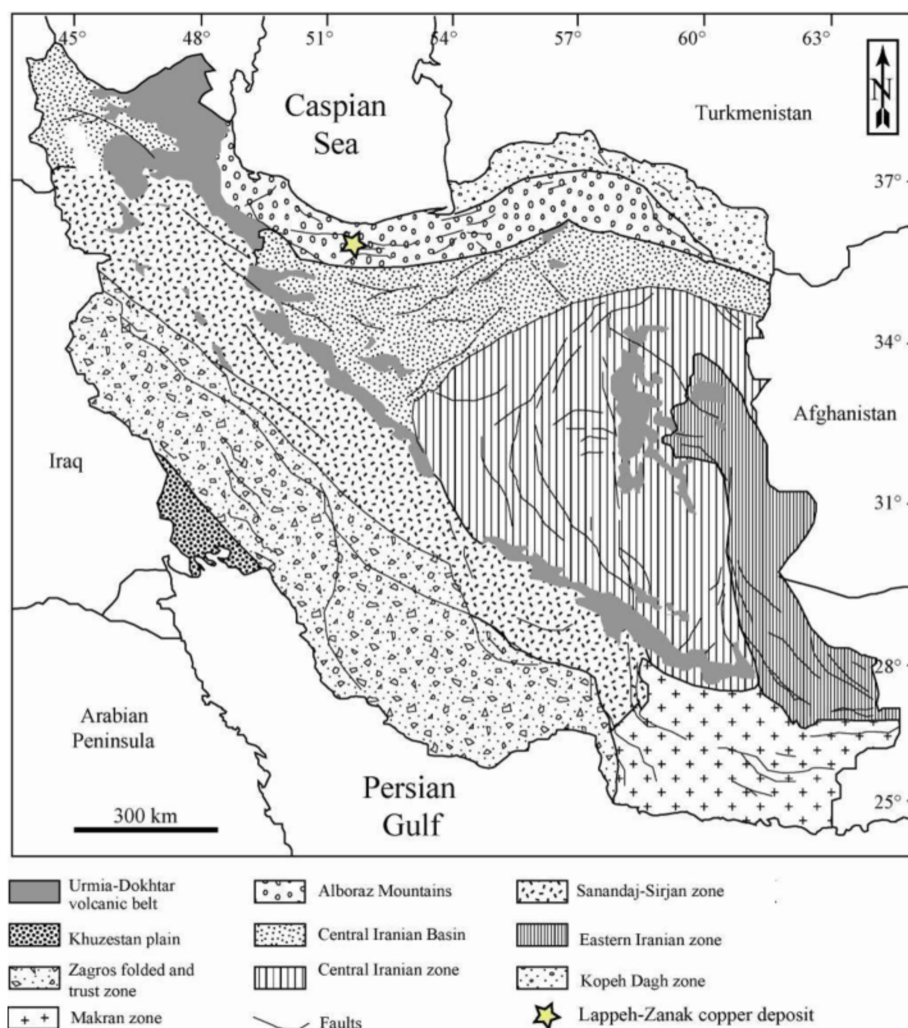
*نویسنده مسئول، تلفن: ۳۲۹۷۲۱۳۴ (۰۴۴)، نمابر: ۳۲۷۷۶۷۰۷ (۰۴۴)، پست الکترونیکی: abedini2020@yahoo.com

پهنه می‌توان به تکیه طالقان، قلعه پراجان، علی‌آباد، آوان و اسماعیل‌آباد اشاره نمود. کانه‌زایی مس در این نشانه‌ها به شکل رگه – رگچه‌ای است و سنگ میزبان آنها اغلب سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن هستند [۴، ۵].

امکان بالای کانه‌زایی در پهنه البرز غربی و همچنین، کانسارها و نشانه‌های معدنی متعدد مس رگه‌ای در پهنه البرز مرکزی، انگیزه‌ای برای پژوهش در بخش جنوبی البرز مرکزی شد که شرایط و ویژگی‌های زمین‌شناسی مشابهی با پهنه البرز غربی دارد.

ذخیره مس لپه‌زنک، به مختصات جغرافیایی ″۲۵ ′۳۶ °۵۱ طول شرقی و″۰۳ ′۳۵ °۳۵ عرض شمالی، در ۱۵ کیلومتری شرق تهران قرار دارد. این ذخیره از نظر پهنه‌بندی ساختاری در جنوب پهنه البرز واقع است [۱] (شکل ۱). این ذخیره بخش کوچکی از جنوب غرب نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شرق تهران است [۶].

بررسی‌های زمین‌شناسی و اکتشافی انجام شده بر این ذخیره در قالب تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تهران [۷]، ۱:۱۰۰۰۰۰ فشم [۶] و ۱:۱۰۰۰۰ منطقه لپه زنک [۸] بوده است. تاکنون بررسی دقیق و کاملی پیرامون کانه‌زایی مس، نوع سنگ میزبان کانه‌زایی، خاستگاه سیال‌های کانه‌زا و ویژگی‌های کانی-شناسی رگه-رگچه‌های دربردارنده کانه‌های فلزی در ذخیره مس لپه‌زنک انجام نشده است. در این پژوهش، ویژگی‌های زمین-شناسی، دگرسانی، ساخت، بافت و همبرزایی کانی‌ها در ذخیره و همچنین میانبارهای سیال در کانی‌های کوارتز و باریت در رگه‌ها بررسی شدند. افزون بر این، با توجه به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌ساز، چگونگی نهشت کانسنگ و نوع کانی‌سازی تعیین شد. امید است که نتایج این پژوهش بتواند برای پی جویی و شناسایی این نوع از کانسارهای مس در بخش جنوبی پهنه البرز مرکزی که شرایط زمین‌شناسی مشابهی دارند، مفید و موثر باشد.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی پهنه‌های رسوبی- ساختاری ایران [۱] که بر اساس آن ذخیره لپه‌زنک در رشته کوه‌های البرز قرار دارد.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.5.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.253]

روش بررسی

این پژوهش، در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. بررسی‌های صحرایی شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی به مساحت ۰/۷ کیلومتر مربع با مقیاس ۱:۵۰۰۰ و همزمان شناسایی ویژگی-های کانی‌سازی چون ساخت، بافت و دگرسانی بودند. بر این اساس، تعداد ۱۰۰ نمونه سنگی از واحدهای سنگی و پهنه‌های کانی‌سازی شده برداشت گردید. در بخش آزمایشگاهی، ۱۶ نمونه برای تهیه مقاطع نازک و بررسی‌های سنگ‌نگاری واحدهای سنگی و تعداد ۱۸ نمونه برای تهیه مقاطع نازک- صیقلی و بررسی‌های سنگ‌نگاری- کانه‌نگاری کانسنگ‌ها انتخاب شدند. مقاطع نازک با میکروسکوپ نوری نیکون مدل eclitse-e200 در سازمان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی کشور بررسی شدند. مقاطع نازک-صیقلی در دو مرحله و با میکروسکوپ نوری – بازتابی مدل LEITZ WETZLAR در دانشگاه تربیت مدرس و میکروسکوپ بازتابی مدل LEITZ ORTOLUX در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بررسی شدند. برای تعیین نوع کانی‌های رسی، تعداد ۳ نمونه از پهنه دگرسانی آرژیلیک برداشت و به روش پراش پرتو X (XRD) در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه شدند.

برای بررسی‌های سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی میانبارهای سیال و همچنین، بررسی شرایط فیزیکو - شیمیایی ته‌نشست کانسنگ مس در این منطقه، تعداد ۶ نمونه دوبر صیقل از رگه- رگچه‌های کوارتزی و ۲ نمونه دوبر صیقل از رگه‌های باریتی همراه با کانه‌های فلزی، تهیه شد. از کانی‌های کوارتز و باریت به ترتیب تعداد ۴۷ و ۱۲ میانبار سیال اولیه بررسی شدند. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی با دستگاه لینکام THMSG600 متصل به میکروسکوپ زایس و مجهز به کنترل‌کننده دمایی TMS94 و سردکننده LNP در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. گستره دمایی دستگاه، ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد بود. واسنجی دستگاه در مرحله گرمایش (با دقت ۰/۶± درجه سانتی‌گراد) با نیترات سزیم با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه سانتی‌گراد و در مرحله سرمایش (با دقت ۰/۲± درجه سانتی‌گراد) با ماده استاندارد ان‌هگزان با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی‌گراد انجام شد. مقدار شوری در میانبارهای دوفازی در سامانه H_2O-NaCl و با استفاده از برنامه ارائه شده توسط بودنار [۹] محاسبه شد.

زمین‌شناسی و روند کانی‌سازی ذخیره

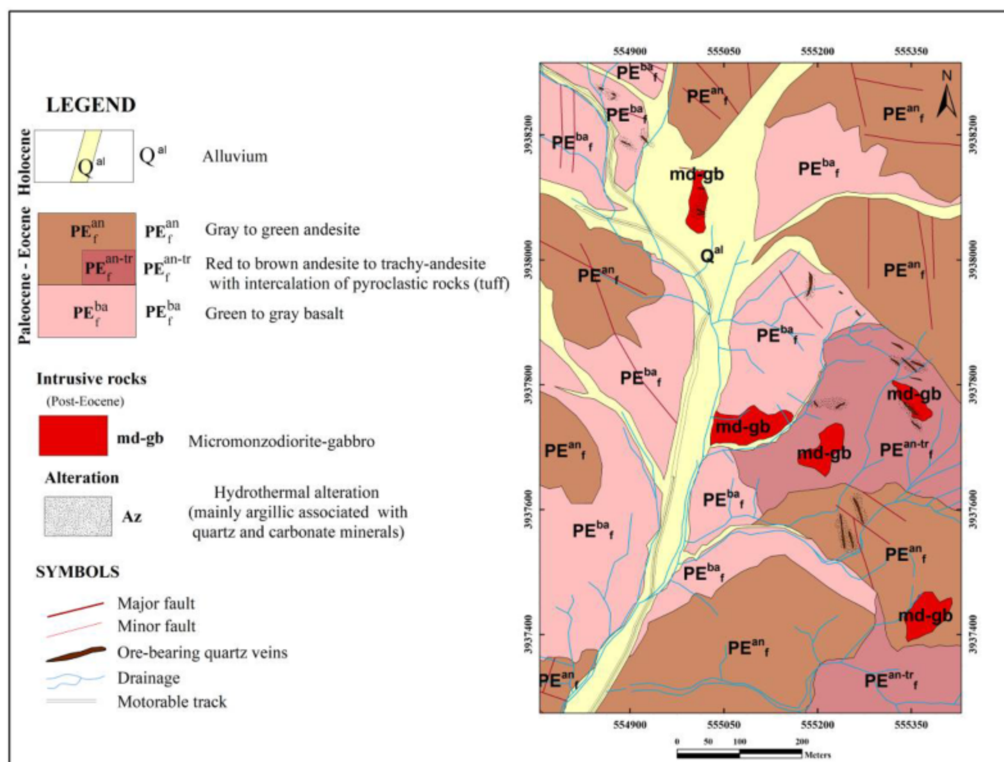
بر اساس بررسی‌های صحرایی، واحدهای سنگی رخنمون یافته در گستره ذخیره شامل یک توالی از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری هستند (شکل ۲). سنگ‌های آتشفشانی دربردارنده مجموعه‌ای از گدازه‌های بازالتی، آندزیتی و تراکی‌آندزیتی و نهشته‌های آذرآواری شامل توف داسیتی دگرسان شده و توف شیشه‌ای وابسته به پالئوسن- ائوسن پیشین (سازند فجن) هستند. فعالیت‌های ماگمایی پس از ائوسن با نفوذ توده‌های نیمه‌عمیق با ترکیب میکرومونزودیوریت- گابرو در سنگ‌های آتشفشانی و نهشته‌های آذرآواری پالئوسن- ائوسن مشخص می‌شوند (شکل ۳). نهشته‌های عهد حاضر شامل رسوب‌های سست آواری در مسیر آبراهه‌ها هستند که با جورشدگی بسیار ضعیف توسط ملاتی از ماسه و رس در کنار هم قرار گرفته‌اند. بخش‌های میانی آبراهه‌ها اغلب شامل قطعه‌های سنگی و ذرات ماسه‌ای و دارای کمترین مقدار رس هستند.

گسل‌های اصلی در منطقه راستای شمال‌غرب - جنوب‌شرق و شیب نزدیک به قائم دارند. افزون بر این، گسل‌های فرعی دیگری با راستای شمالی- جنوبی و شرقی- غربی در این منطقه وجود دارند که اغلب دارای شیب نزدیک به قائم هستند. کانی‌سازی در ذخیره لپه‌زنک اغلب در طول گسل‌هایی با راستای شمال‌غرب – جنوب-شرق رخ داده است.

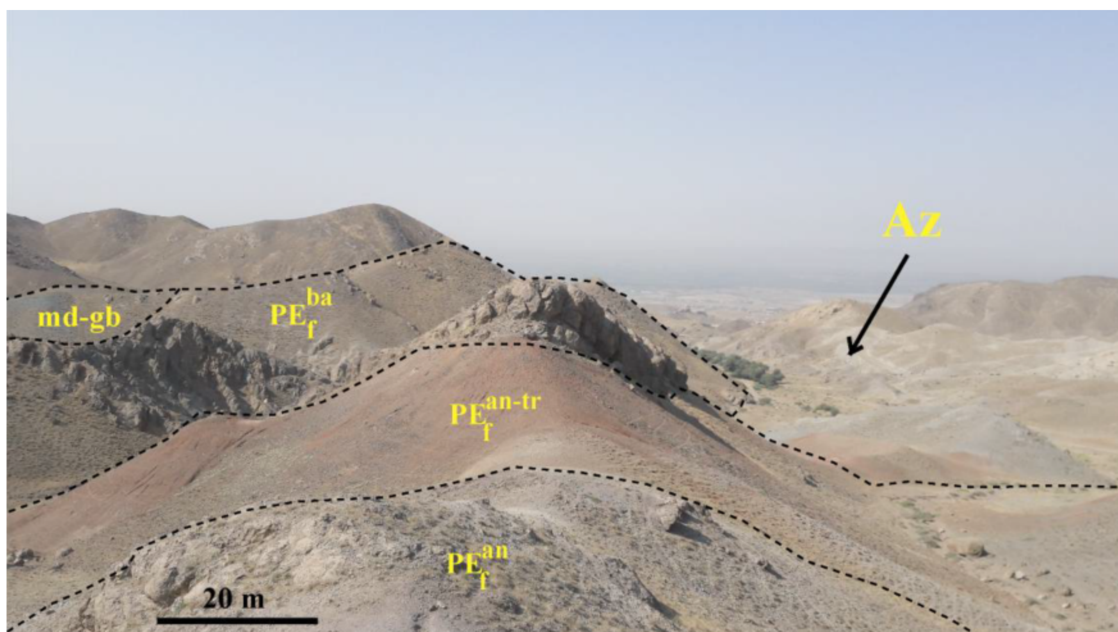
کانی‌سازی مس در منطقه لپه‌زنک به صورت رخداد رگه-رگچه‌های کوارتزی همراه با مقادیر فرعی باریت و کربنات (کلسیت) دیده می‌شود (شکل ۴ الف). در این منطقه، یک رگه کوارتزی (± باریت و کربنات) با طول حدود ۲۰ متر و ضخامت ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر، همراه با چند رگه و رگچه با ترکیب کانی‌شناسی مشابه و گسترش در راستای کلی شمال‌غرب- جنوب‌شرق و شیب ۷۵ تا ۸۰ درجه به‌سوی شمال شرق، واحد آندزیت- تراکی آندزیتی (PE_f^{an-tr}) منطقه را قطع نموده‌اند. این رگه و رگچه‌ها اغلب ضخامت کمتر از ۵ سانتی‌متر دارند و از نظر ویژگی‌های کانی-شناسی شبیه رگه اصلی هستند. در قلمروی گسترش رگه و رگچه‌های یاد شده، سنگ میزبان با دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک (شکل ۴ ب)، کربناتی و پروپیلیتیک همراه است. کانی-سازی مس بیشتر در رگه کوارتزی اصلی تمرکز دارد. بر اساس روابط بافتی، رخداد باریت و کلسیت با کوارتز همزمان بوده و باریت با ساخت و بافت‌های رگه و رگچه‌ای و برشی (شکل ۴پ)، در

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.5.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.253]

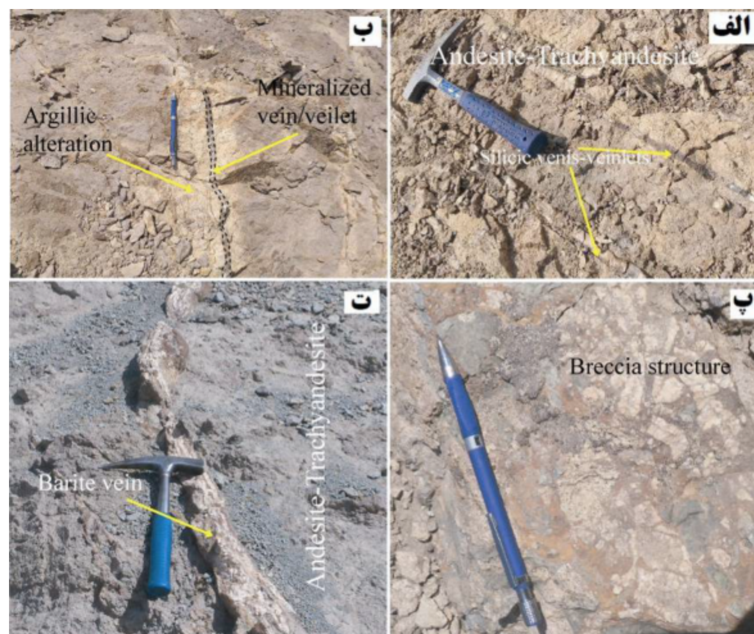
بردارنده مقادیر کم کالکوپیریت است. بزرگترین رگه باریتی با طول حدود ۱۰ متر، و ضخامت ۵ تا ۴۰ سانتیمتر و با راستای شمال‌غرب - جنوب شرق (N30W) و شیب ۳۸ درجه به‌سوی شمال‌شرق در واحدآندزیت- تراکی آندزیت (واحد PE_f^{an-tr}) برونزد دارد (شکل۴ت).



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی گستره ذخیره لپه‌زنک برگرفته از مرجع [۸] با کمی تغییرات.



شکل ۳ نمایی از واحدهای سنگی و گسترش دگرسانی آرژیلیک در گستره ذخیره مس لپه زنک. دید به سوی شمال. برای نشانه‌های استفاده شده بر تصویر به بخش راهنمای شکل ۲ مراجعه شود.



شکل ۴ نمایی از الف) رگه-رگچه‌های کوارتزی در واحد آندزیت- تراکی آندزیت، ب) دگرسانی آرژیلیک رسی پیرامون رگه-رگچه‌های شامل کانه‌زایی. پ) ساختار برشی در رگه باریتی و ت) رخنمونی از رگه باریتی در واحد آندزیت- تراکی آندزیت در منطقه لپه‌زنک.

سنگ‌نگاری واحدهای آذرین

واحد PE_f^{ba}: این واحد از گدازه‌هایی با ترکیب بازالت به رنگ سبز تا خاکستری تشکیل شده است. بافت آن پورفیری با خمیره شیشه‌ای بوده و ترکیب کانی‌شناسی آن در بردارنده بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول، اولیوین، اپیدوت، کانی‌های کدر، کلریت، بیوتیت، کربنات و سریسیت است. پلاژیوکلازهای موجود در این سنگ‌ها نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار هستند و گاهی به اپیدوت، کلریت و سریسیت تجزیه شده و در مواردی با کانی‌های کدر (اکسیدهای آهن) و کربنات جایگزین شده‌اند. کانی‌های مافیک از جمله آمفیبول، اولیوین و پیروکسن بیشتر با کانی‌های ثانویه، کربنات، اکسیدهای آهن و کانی‌های کدر جایگزین شده‌اند. بلورهای اولیوین (شکل ۵ الف) گاهی ایدنگزیتی شده و توسط اکسیدهای آهن و کلریت جانشین شده‌اند.

واحد PE_f^{an}: این واحد از گدازهای آندزیت و آندزیت فلدسپاتوئیددار به رنگ خاکستری تا سبز تشکیل شده است. این سنگ‌ها دارای بافت‌های پورفیری (شکل ۵ ب)، با خمیره شیشه‌ای دگرسان شده و پورفیری حفره‌دار هستند. ترکیب کانی‌شناسی آنها در بردارنده پلاژیوکلاز (شکل ۵ ب)، آمفیبول، شبه فلدسپار، اپیدوت، اکسید آهن، بیوتیت، آلبیت، کوارتز، کانی کدر، پرهنیت، کلریت، رس، سریسیت وکربنات است. شبه فلدسپارها (لئوسیت) روی سطوح پلاژیوکلاز متبلور شده‌اند.

واحد $PE_f^{an\text{-}tr}$: این واحد میزبان اصلی ذخیره لپه‌زنک بوده و از گدازه‌هایی با ترکیب آندزیت- تراکی آندزیت با بافت پورفیری و خمیره ریزسنگی (شکل‌های ۵ پ و ت) همراه با میان لایه‌هایی از واحدهای آذرآواری (توف داسیتی دگرسان شده و توف شیشه‌ای با بافت شیشه آواری) تشکیل شده است. این گدازه‌ها از درشت بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول و آلبیت، همراه با کانی‌های فرعی کوارتز، بیوتیت (شکل ۵ ت) و کانی‌های کدر شکل گرفته است مهم‌ترین کانی‌های ثانویه در این سنگ‌ها کربنات، اپیدوت، کلریت و کوارتز بوده که برآمده از دگرسانی ضعیف درشت بلورها و زمینه هستند.

توده‌های نفوذی (md-gb): فعالیت‌های ماگمایی پس از ائوسن در منطقه با نفوذ توده‌های نیمه‌ژرف با ترکیب میکرومونزودیوریت پورفیری- گابرو در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری پالئوسن-ائوسن مشخص می‌شود. بافت این سنگ‌ها از ریزدانه‌ای در میکرومونزو دیوریت‌ها تا دانه‌ای در گابروها متغیر است (شکل‌های ۵ ث و ج). کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن (شکل ۵ ث)، فلدسپار قلیایی (شکل ۵ ج)، کمی اولیوین، و کانی‌های ثانویه شامل بیوتیت، کلریت، اپیدوت وکانی‌های کدر (هماتیت و به ندرت مگنتیت) هستند و کانی فرعی آنها آپاتیت است. پلاژیوکلازهای موجود در سنگ اغلب به سریسیت،کلریت، بیوتیت و کانی‌های کدر تجزیه شده‌اند. بلورهای پلاژیوکلاز در دو مرحله تبلور یافته‌اند. از ویژگی‌های پلاژیوکلازها در این سنگ‌ها لبه گرد شده، آلبیتی شدن و جانشینی توسط کلریت و به ندرت بیوتیت است.

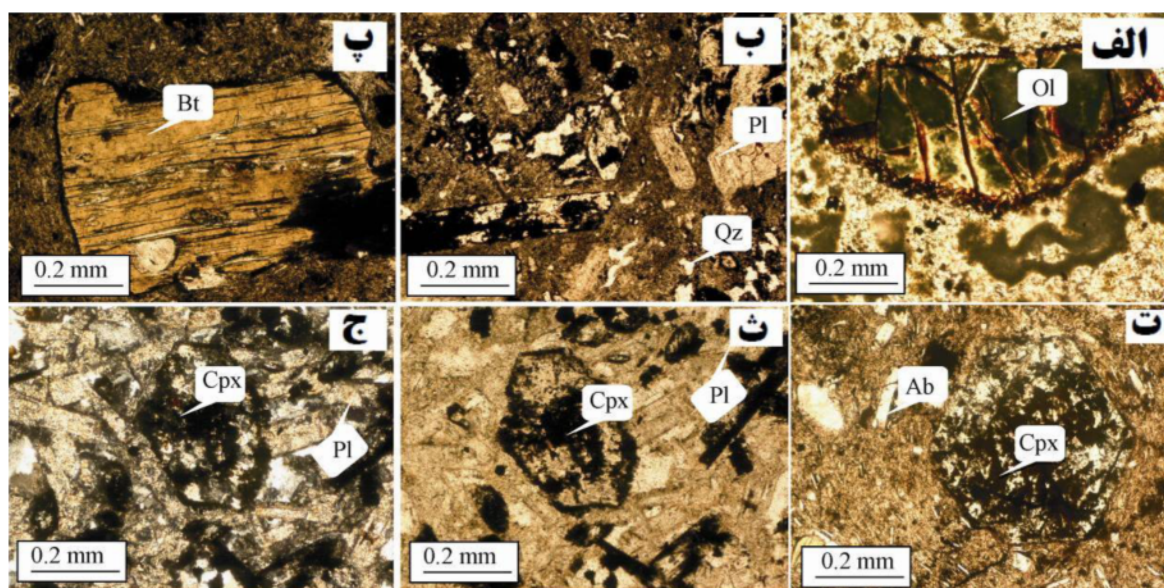
کانی‌شناسی رگه‌های کوارتزی و باریتی

اصلی‌ترین ساخت و بافت در کانسنگ مس به صورت رگه و رگچه-های کوارتزی (دارای باریت و کلسیت) دیده می‌شود. باریت‌ها

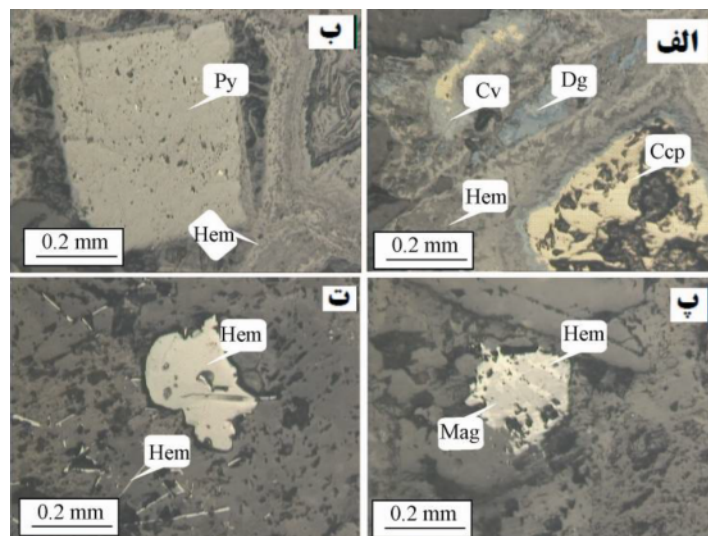
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.5.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.253]

اغلب در همراهی با رگه و رگچه‌های کوارتزی هستند و گاه با ساخت برشی مشاهده می‌شوند. در باریت‌های برشی شده، قطعه-های خرد شده باریت با سیمانی از کوارتز، کربنات (کلسیت) و اکسیدهای آهن پر شده‌اند. بافت برشی در بخش‌هایی از سنگ‌های میزبان دگرسان شده دیده می‌شود. از آنجا که، رگه‌های کوارتزی و باریتی در منطقه مورد بررسی دارای کانه‌زایی هستند و در بررسی-های ریزدماسنجی نیز بررسی شده‌اند، در ادامه نتایج سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری آنها بیان می‌شود.

کانی‌شناسی رگه- رگچه‌های کوارتزی: بر اساس بررسی‌های کانه-نگاری، نمونه‌های کوارتزی (مس‌دار) کانی‌های فلزی موجود در رگه و رگچه‌های کوارتزی ساده بوده و شامل کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت، روتیل و کانی‌های ثانویه، دیژنیت، کوولیت، مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن هستند. هوازدگی سبب اکسایش کانه‌های سولفیدی و تشکیل کانی‌های برون‌زاد دیژنیت، کوولیت، هماتیت و مالاکیت شده است (شکل ۶ الف). کالکوپیریت به عنوان فراوان‌ترین کانه سولفیدی و به صورت بی-شکل در اندازه‌های کوچکتر از ۳۵۰ میکرون، ۳ تا ۵ درصد از حجم کانسنگ را تشکیل داده است. بر اساس روابط بافتی، کالکوپیریت‌ها به صورت دانه پراکنده و همرشد با کانی کوارتز دیده می‌شوند که بر اثر دگرسانی ناشی از اکسایش، از لبه‌ها و نیز محل ریزدرز و شکستگی‌ها با دیژنیت، کوولیت، مالاکیت و هماتیت جانشین شده‌اند (شکل ۶ الف). پیریت‌ها به‌صورت کانه‌های خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار و با اندازه ۱۰ میکرون تا ۱ میلی‌متر، از دیگر کانه‌های سولفیدی هستند که در همراهی با کالکوپیریت‌ها تشکیل شده‌اند. پیریت‌ها با فراوانی کمتر از یک درصد در کانسنگ حضور دارند و در اثر فرایند هوازدگی، به شدت اکسیده شده و به طور بخشی تا کامل با هماتیت جانشین شده‌اند (شکل ۶ ب). مگنتیت‌ها به‌صورت کانی‌های خود شکل تا نیمه شکل‌دار و کوچکتر از ۱۵۰ میکرون، فراوانی کمی در کانسنگ دارند. در اثر فرایند اورالیتی شدن، بلورهای مگنتیت کمابیش با هماتیت جانشین شده‌اند (شکل ۶ پ). هماتیت‌ها به صورت بلورهای صفحه‌ای و نیز بلورهای کشیده و سوزنی شکل (اولیژیست) کوچکتر از ۱۰۰ میکرون، ۱ تا ۳ درصد از حجم کانسنگ را تشکیل داده‌اند (شکل ۶ ت). به نظر می‌رسد که بخشی از هماتیت‌ها از جانشینی بلورهای مگنتیت (اورالیتی شدن) ناشی شده‌اند. روتیل با فراوانی کمتر از یک درصد و در اندازه کوچکتر از ۴۰ میکرون در کانسنگ حضور دارد.



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری) از واحدهای سنگی ذخیره مس لپه‌زنک: الف) ایدنگزیتی شدن بلور اولیوین در واحد بازالتی (PE_f^{ba}؛ نور قطبیده متقاطع، XPL)، ب) واحد آندزیتی (PE_f^{an}) با بافت پورفیری و خمیره شیشه‌ای دگرسان شده که در آن بلورهای پلاژیوکلاز به طور بخشی توسط کوارتز جانشین شده اند (نورXPL)، پ) بیوتیت با لبه سوخته در خمیره ریزسنگی شیشه‌ای در واحد آندزیت- تراکی آندزیت (PE_f^{an-tr}؛ نورXPL)، ت) واحد آندزیت- تراکی آندزیت (PE_f^{an-tr}) با بافت پورفیری و خمیره شیشه‌ای- ریزسنگی دگرسان شده که در آن درشت بلور کلینوپیروکسن در محل رخ‌ها و ریزدرز و شکستگی‌ها به اکسید آهن و کلریت تبدیل شده است (نورXPL)، ث و ج) میکرومونزودیوریت پورفیری- گابرو دگرسان شده (md-gb) با بافت ریزدانه ای- دانه ای که در آن بلورهای پلاژیوکلاز و درشت بلور کلینوپیروکسن قابل تشخیص است (نورهای قطبیده صفحه ای، ppl و متقاطع، PPL و XPL). نشانه های اختصاری کانی‌ها (Pl: پلاژیوکلاز، Ol: الیوین، Bt: بیوتیت، Qz: کوارتز، Cpx: کلینوپیروکسن و Ab: آلبیت) از برگرفته ویتنی و اوانز [۱۰] است.



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی (در نور بازتابی) از کانی‌های فلزی ذخیره لپه‌زنک: الف) جانشینی کالکوپیریت توسط کانی‌های ثانویه دیژنیت، کوولیت و هماتیت، ب) جانشینی کامل پیریت توسط هماتیت که تنها قالبی از پیریت باقیمانده است، پ) اورالیتی‌شدن مگنتیت و تبدیل بخشی آن به هماتیت. ت) رخداد کانی‌های ورقه‌ای و سوزنی‌شکل هماتیت در کانسنگ. (Py: پیریت، Ccp: کالکوپیریت، Cv :کوولیت، Dg: دیژنیت، Mag: مگنتیت و Hem: هماتیت) [۱۰]).

کانی‌شناسی رگه‌های باریتی: ترکیب کانی‌شناسی رگه‌های باریتی اغلب شامل باریت همراه با مقادیر کمتر کلسیت و کوارتز است. در این رگه‌ها، شواهد جزء از کانه‌زایی‌های پیریت، کالکوپیریت و هماتیت وجود دارد. بلورهای تیغه‌ای شکل و گاه شعاعی باریت به طور معمول ۵۰۰ میکرون تا ۲ میلی‌متر، اغلب ۵۰ تا ۹۰ درصد از حجم رگه‌های باریتی را تشکیل داده‌اند. بلورهای باریتی گاه خرد و برشی شده‌اند و فضای بین قطعه‌های در آنها با کلسیت و اکسیدهای آهن پر شده است. اصلی‌ترین کانی‌های باطله در کانسنگ‌ها کوارتز، باریت و کربنات (کلسیت) بوده که کوارتزهای کوچکتر از یک میلی‌متر فراوان‌ترین کانی باطله هستند. بر اساس روابط بافتی، این سه کانی اغلب همرشدی نشان می‌دهند.

توالی همبرزایی کانی‌ها در ذخیره لپه‌زنک را می‌توان به دو مرحله گرمابی (درون‌زاد) و هوازدگی (برونزاد ناشی از اکسایش) تقسیم کرد (شکل ۷). در مرحله درونزاد کانی‌سازی، کالکوپیریت، پیریت، هماتیت، مگنتیت و روتیل همراه با کوارتز، باریت و کلسیت تشکیل شده‌اند. کانه‌های سولفیدی تشکیل شده در مرحله درونزاد در اثر هوازدگی و آب‌های جوی فرورو، اکسایش یافته و منجر به تشکیل کانی‌های دیژنیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت و اکسیدهاو هیدروکسیدهای آبدار آهن شده‌اند.

کانی	کانی سازی گرمابی	هوازدگی (اکسایش)
پیریت	━━━━━ - - - - - - - - - - -	
کالکوپیریت	━━━━━ - - - - -	
مگنتیت	——— - -	
هماتیت	———— - - - - - - - -	———— - - -
روتیل	- - - ———— - - -	
دیژنیت		━━━━━━ - - - - - -
کوولیت		———— - - - - - - - -
مالاکیت		—— - .
اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن		- - - ━━━━━━ - - - - -
کوارتز	━━━━━━━━━━	
باریت	━━━━━━━━━	
کلسیت	━━━━━━━━	———— - - - - -

شکل ۷ توالی همبرزایی کانی‌ها در ذخیره لپه‌زنک.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.5.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.253]

دگرسانی

دگرسانی‌های گرمابی رخ داده در سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت- تراکی آندزیت میزبان کانی‌سازی (واحد PE_f^{an-tr}) شامل دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی و آرژیلیک و تا حدی پروپیلیتیک هستند. دگرسانی سیلیسی در منطقه مورد بررسی غالب بوده است و به صورت مجموعه‌ای از کانی‌های کوارتز در همراهی با مقادیر کم کلسیت، باریت و مقادیر جزئی کانی‌های سولفیدی و رسی رخداد دارد. در سنگ‌های دگرسان شده سیلیسی، کوارتز به عنوان فراوان‌ترین کانی، در اندازه‌های ۵۰ تا ۶۰۰ میکرون حضور دارد و گاه با کانی‌های کلسیت، باریت و کانی‌های سولفیدی همرشدی نشان می‌دهد. در سنگ‌های دگرسان شده کربناتی، کلسیت در اندازه‌های کوچکتر از ۴ میلی‌متر فراوان‌ترین کانی دگرسانی است و برخی از آنها، افزون بر آغشتگی به ترکیب‌های هیدروکسیدی آهن، شواهدی از برشی شدن را نشان می‌دهند. این پهنه دگرسانی مقادیر فرعی از کوارتز نیز وجود دارد. بر اساس نتایج XRD، دگرسانی آرژیلیک، که اغلب از کانی‌های کائولینیت، ایلیت و پالی-گورسکیت تشکیل شده است، پیرامون رگه-رگچه‌های کوارتزی (و باریتی) گسترش بیشتری دارد. طی گسترش این دگرسانی، بخش قابل توجهی از پلاژیوکلازها به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. دگرسانی پروپیلیتیک، که اغلب نتیجه تشکیل کانی‌های دگرسانی کلریت و اپیدوت در واحدهای آتشفشانی است، در منطقه گسترش کمی دارد. در مقاطع مورد بررسی، دگرسانی کانی‌های پیروکسن و هورنبلند به کلریت و اپیدوت و پلاژیوکلازها به اپیدوت شایع‌تر است.

بررسی میانبارهای سیال

بررسی میانبارهای سیال برای کانی‌های کوارتز و باریت که از نظر روابط بافتی در همرشدی و همزمان با کانه‌های سولفیدی مس تشکیل شده‌اند، انجام شد. در این پژوهش، ۵۹ میانبار سیال (۴۷ میانبار در کانی کوارتز و ۱۲تا در کانی باریت) بررسی سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی شدند.

سنگ‌نگاری میانبارهای سیال: سنگ‌نگاری میانبارهای سیال موجود در کانی‌های کوارتز و باریت برداشت شده از کانسنگ مس‌دار و رگه‌های باریت ذخیره لپه‌زنک بر اساس تقسیم‌بندی‌های رودر [۱۱]، گلدشتاین [۱۲] و کرخوف و هن [۱۳] انجام گردید. در بررسی سنگ‌نگاری، بر اساس معیارهای ارائه شده در این تقسیم‌بندی‌ها، ویژگی‌های نوری چون شکل و اندازه میانبارهای سیال، رده‌بندی زایشی (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب)، درونمایه میانبارها (L+V+S)، نسبت فاز گازی به فاز مایع، نوع کانی-های نوزاد (بر پایه شکل بلوری و ریختار ظاهری) و پدیده‌هایی مانند نشت و دم بریدگی[۱] بررسی شد. نتایج نشان می‌دهند که میانبارهای موجود در بلورهای کوارتز و باریت همزاد با رگه-رگچه‌های کانه‌دار از نوع اولیه و ثانویه هستند. اندازه بزرگ، توزیع ناهمگن، نسبت‌های فازی مشابه و نبود آرایه خطی وجه تشخیص میانبارهای اولیه از ثانویه بوده‌اند. از نظر شکل ظاهری و با توجه به پارامترهای ارائه شده توسط رودرو [۱۱] و شفرد و همکاران [۱۴]، میانبارهای سیال اولیه در نمونه‌های مورد بررسی اغلب از انواع دوفازی غنی از مایع (L+V) و گاهی تک فاز بخار (V) هستند. افزون بر این، هیچ شاهدی از حضور فاز نوزاد (S) در میانبارها دیده نشد. در این پژوهش، تنها میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) اولیه بررسی شدند. بنابراین، فقط نتایج ریزدماسنجی بدست آمده از بررسی میانبارهای نوع دوفازی غنی از مایع در جدول ۱ ارائه شده است. میانبارهای سیال دوفازی مورد بررسی ریز تا متوسط و در اندازه‌های کوچکتر از ۳۷ میکرون دیده شدند. این نوع از میانبارها اغلب با شکل‌های نامنظم و گاه به شکل منفی‌بلور در کانی‌های کوارتز و باریت میزبان پراکنده هستند (شکل ۸). در این نوع از میانبارها، فاز مایع ۸۰ تا ۹۰ درصد و فاز بخار ۱۰ تا ۲۰ درصد حجم کل سیال را در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) تشکیل داده است.

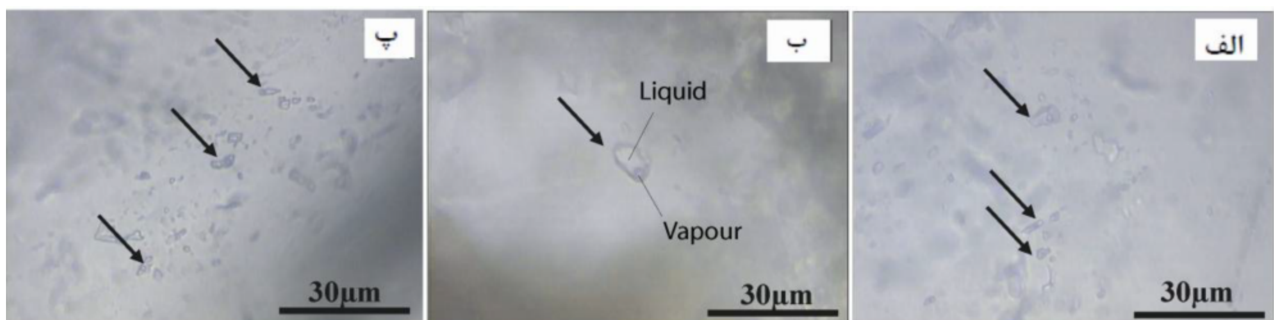
نتایج ریز دماسنجی میانبارهای سیال: یافته‌های ریزدماسنجی میانبارهای اولیه در بلورهای کوارتز و باریت موجود در کانسنگ مس و رگه‌های باریت، در دو مرحله سرمایش و گرمایش، در جدول ۱ ارائه شده‌اند. دیده می شود که، دمای همگدازی (Te) برای میانبارهای سیال بیشتر نمونه‌ها ۲۱- درجه سانتی‌گراد است که با سامانه H_2O-NaCl همخوانی دارد. تنها در یک نمونه کوارتز، این دما ۴۵- درجه سانتی‌گراد بوده که نشان دهنده حضور کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در سیال است [۱۵، ۱۶]. آخرین نقطه ذوب یخ (Tm_{ice}) در میانبارهای سیال اولیه کوارتز در گستره ۰/۵- تا ۵/۵- درجه سانتی‌گراد معادل با شوری ۰/۸۸ تا ۸/۵۵ (با میانگین ۴/۵) درصد وزنی معادل نمک طعام و در میانبارهای سیال اولیه باریت ۳- تا ۵- درجه سانتی‌گراد مطابق با شوری ۴/۹۶ تا ۷/۸۶ (با میانگین ۴/۷۵) درصد وزنی معادل نمک طعام بدست آمد (شکل‌های ۹ الف و ب). دمای همگن‌شدگی در میانبارهای سیال اولیه کوارتز در گستره ۱۰۰ تا ۱۹۸ (با میانگین ۱۵۵) درجه سانتی‌گراد و در میانبارهای سیال اولیه باریت ۱۱۰ تا ۲۰۷ (با میانگین) درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (شکل ۹ پ).

1- Necking down

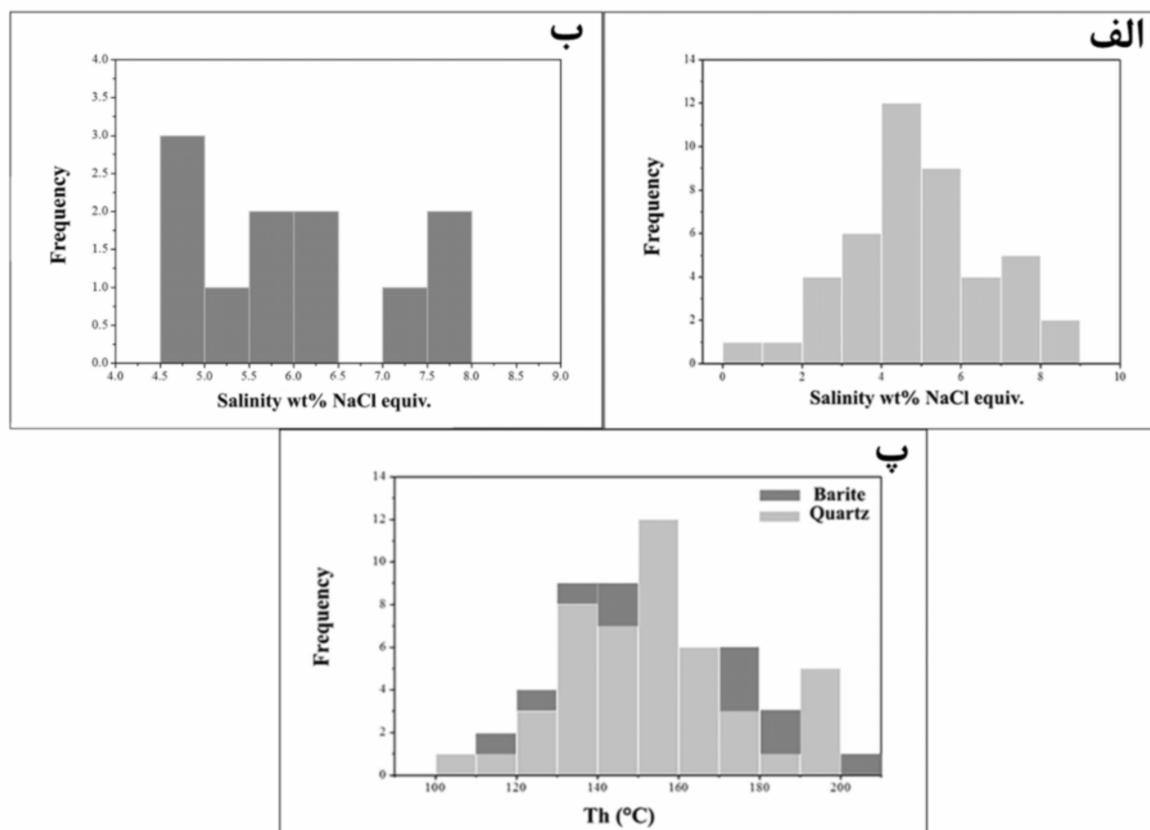
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.5.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.253]

جدول ۱ یافته‌های ریز دماسنجی ۵۹ میانبار اولیه در بلورهای کوارتز و باریت از کانسنگ‌های مس‌دار ذخیره لپه‌زنک. (nv : دما قابل اندازه‌گیری نبوده، Tm_{ice} : آخرین نقطه ذوب یخ و Th : دمای همگن شدگی و T_e : اولین نقطه ذوب یخ.

کانی میزبان	Th (°C)	wt% NaCl	Tm_{ice} (°C)	Te (°C)	نوع	اندازه (µm)	N	نمونه
باریت	۱۱۵-۱۸۰	۴٫۹۶ -۶٫۴۵	۴- تا ۳-	-۲۱	L+V	۶-۱۰	۷	13N
باریت	۱۵۸-۲۰۷	۶٫۴۵ - ۷٫۸۶	۵- تا ۴-	nv	L+V	۷-۱۸	۵	13M
کوارتز	۱۰۰-۱۹۴	۲٫۰۷ -۶٫۸۸	۴٫۳- تا ۱٫۲-	-۲۱	L+V	۶-۱۲	۶	12G
کوارتز	۱۱۰-۱۹۳	۳٫۳۹-۸٫۵۵	۵٫۵- تا ۲-	-۲۱	L+V	۵-۱۵	۵	6
کوارتز	۱۲۹-۱۹۸	۱٫۷۴-۷٫۱۷	۴٫۵- تا ۱-	nv	L+V	۶-۱۵	۶	12I
کوارتز	۱۲۰-۱۹۸	۰٫۸۸-۳٫۵۵	۲٫۱- تا ۰٫۵-	-۴۵	L+V	۶-۳۷	۳۰	12H



شکل ۸ تصاویر میکروسکوپی (نور XPL) از میانبارهای سیال اولیه در کانسنگ‌های مس‌دار: الف) شکل‌های نامنظم در میانبارهای اولیه دو فازی شامل مایع آبگین و حباب بخار در کوارتز، ب) شکل بلور منفی در میانبار دو فازی غنی از مایع در کوارتز و پ) میانبارهای دو فازی غنی از مایع در باریت.



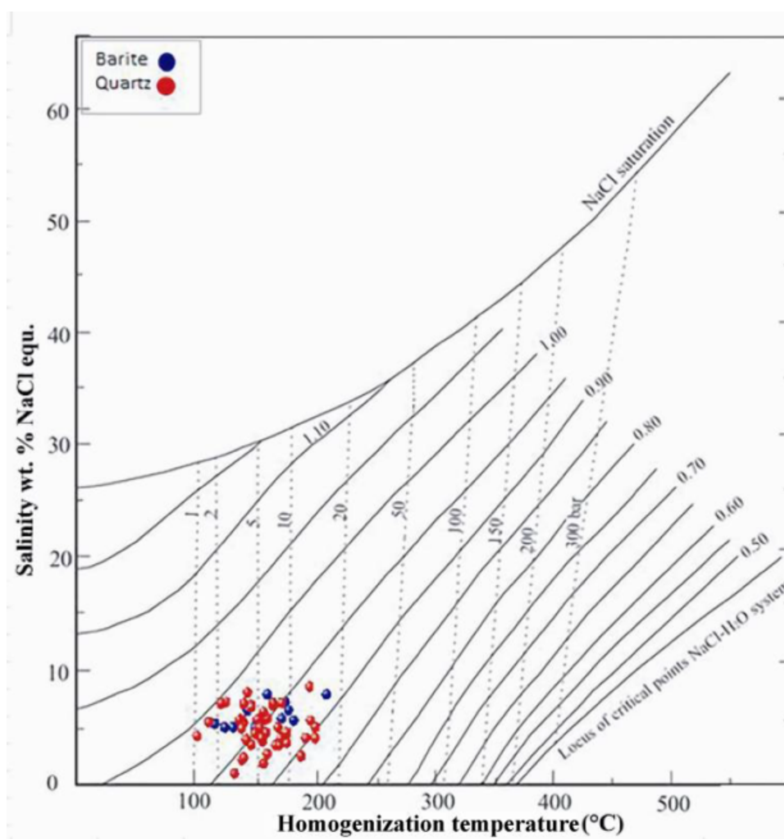
شکل ۹ الف) نمودار توزیع فراوانی شوری در میانبارهای اولیه در کوارتز، ب) نمودار توزیع فراوانی شوری در میانبارهای اولیه در باریت و پ) نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدگی میانبارهای اولیه در کانی‌های کوارتز و باریت.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.5.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.253]

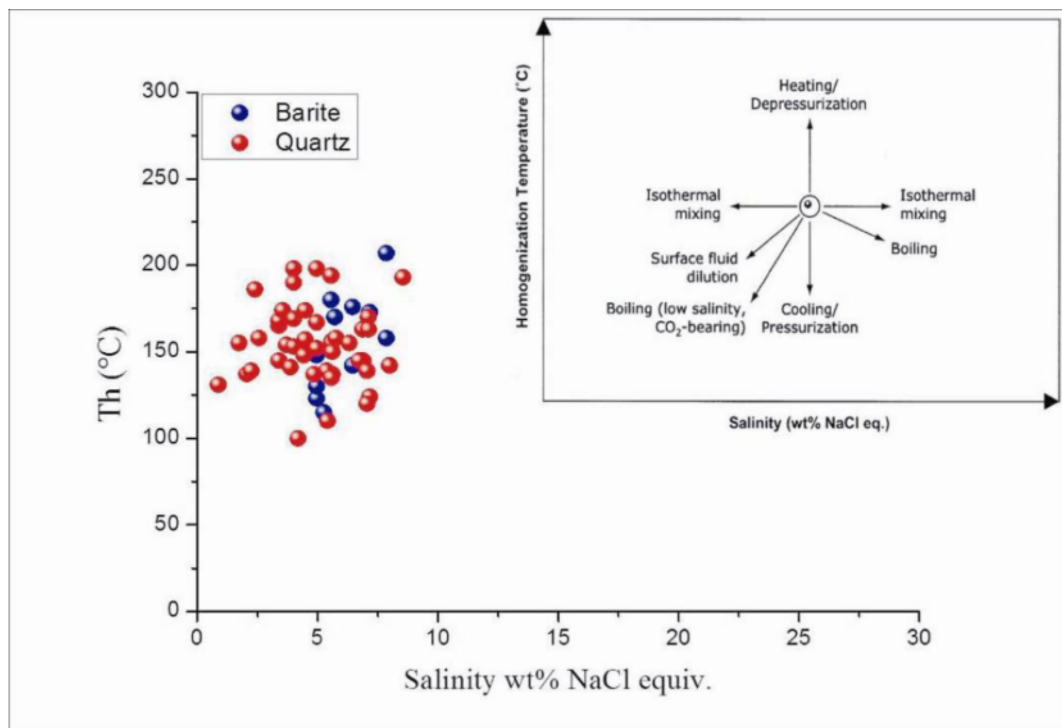
محاسبه چگالی، فشار و عمق تشکیل میانبارهای سیال: از یافته‌های شوری و دمای همگن‌شدگی (شکل ۱۰)، مقدار چگالی برای میانبارهای دوفازی سامانه H_2O-NaCl در گستره ۰٫۸ تا ۰٫۹۹ گرم برسانتی‌متر مکعب بدست آمد. نبود همزمان میانبارهای دوفازی غنی از مایع و غنی از بخار از نشانه‌های رخ ندادن جوشش در منطقه ذخیره است [۱۷]. در چنین شرایطی، به طور معمول تصحیح فشار پیشنهاد می‌شود. از آنجا که در اعماق کمتر از ۳ کیلومتری پوسته زمین، فشارهای سیال نزدیک به فشار ایستابی است، تصحیح فشار با توجه به تفسیر زمین‌شناسی قابل چشم‌پوشی است [۱۸، ۱۹]. با توجه به شکل ۱۰، فشار ایستابی محیط کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی، در گستره ۱ تا ۱۸ بار بوده که بر عمق کمتر از ۲۰۰ متر منطبق است.

بحث

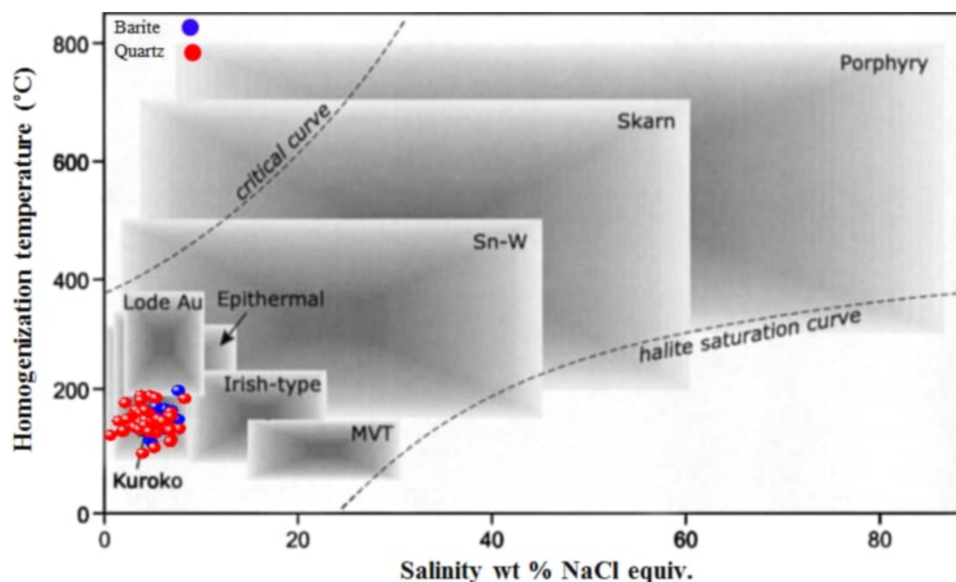
ویژگی‌ها و روند دگرگونی سیال کانه‌ساز: برپایه داده‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال می‌توان ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آنها طی کانه‌زایی را بررسی کرد. بررسی بر این اساس، در ذخیره لپه‌زنک سیال کانه‌ساز با گستره دمایی ۱۰۰ تا ۲۰۷ درجه سانتی‌گراد و شوری ۰٫۸۸ تا ۸٫۵۵ درصد وزنی معادل نمک طعام عامل کانه‌زایی است. براساس توزیع فراوانی میانبارهای سیال بررسی شده بر نمودار شوری نسبت به دمای همگنی [۱۸] (شکل ۱۱)، کاهش دما و رقیق‌شدگی سیال گرمابی با آب‌های سطحی از مهمترین عوامل اثرگذار در تەنشست کانی‌ها در ذخیره لپه‌زنک بوده است. شوری متوسط تا پایین میانبارهای سیال در نمونه‌های کوارتز و باریت بیانگر اضافه شدن سیال‌های با خاستگاه جوی به سیال گرمابی در فرایند کانی‌سازی رگه‌ای است. نبود بلورهای دختر مانند هالیت و سیلویت در میانبارها می‌تواند نشان دهنده شوری متوسط تا پایین سیال و حضور محلول گرمابی فقیر از کمپلکس‌های کلریدی در شکل‌گیری این ذخیره باشد [۲۰]. با توجه به دمای تشکیل رگه‌های کوارتز و باریت در منطقه مورد بررسی که کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است، کمپلکس‌های بی-سولفیدی می‌توانند در حمل فلزات و عناصر نقش داشته باشند [۲۱]. بر اساس مقادیر شوری و دمای همگن‌شدگی میانبارهای اولیه در کانی‌های کوارتز و باریت از رگه‌های کانه‌دار و رگه‌های باریت، ذخیره مس لپه‌زنک در گستره کانسارهای فراگرمایی قرار دارد (شکل ۱۲).



شکل ۱۰ موقعیت میانبارهای اولیه مورد بررسی در نمودار دو متغیره شوری نسبت به دمای همگن شدگی [۱۹].



شکل ۱۱ مسیرهای توزیع میانبارهای اولیه در کانی‌های کوارتز و باریت از کانسنگ‌های مس‌دار ذخیره لپه‌زنک در نمودار دو متغیره دمای همگن شدگی نسبت به شوری [۱۸].



شکل ۱۲ نمودار دو متغیره دمای همگن شدگی نسبت به شوری [۱۸] که بر اساس آن، میانبارهای اولیه در کانی‌های کوارتز و باریت از کانسنگ‌های مس-دار ذخیره لپه‌زنک در گستره فراگرمایی قرار دارند.

نوع ذخیره: با توجه به شواهد زیر می‌توان گفت که ذخیره لپه‌زنک بیشترین شباهت را به ذخایر فراگرمایی با سولفیدشدگی پایین-متوسط دارد؛ ۱) اغلب ذخایر فراگرمایی ترشیری– کواترنری در ایران در دوره پس از ائوسن و در سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند [۲۲]. ۲) کانه‌زایی مس در رگه – رگچه‌های کوارتزی در منطقه لپه‌زنک به شکل کانه‌های سولفیدی مس چون کالکوپیریت و در فاز هوازدگی به صورت دیژنیت، کوولیت و مالاکیت رخ داده است. ۳) تشکیل دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک، کربناتی و تا

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.5.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.253]

حدی پروپیلیتیک و حضور مجموعه‌های کانیایی دگرسانی چون کوارتز، سریسیت، آلبیت، کائولینیت، ایلیت، پالی‌گورسکیت، کلسیت، کلریت و اپیدوت نشانگر دمای پایین و pH خنثی محلول مسئول کانه‌زایی است [۲۳]. حضور کوارتزهای ریزبلور تشکیل شده در دگرسانی سیلیسی نشان دهنده شکل‌گیری آنها در دماهای پایین است [۲۴]. ۴) گسل‌ها و شکستگی‌ها از عوامل مهم در شکل‌گیری اولیه و گسترش ذخایر فراگرمایی هستند که باعث انتقال محلول گرمابی از بخش‌های عمیق‌تر به بخش‌های سطحی و تسهیل نفوذ جریان آب‌های جوی می‌شوند [۲۵، ۲۶]. در ذخیره لپه‌زنک، گسل‌های اصلی با راستای شمال‌غرب – جنوب‌شرق در روند کانه‌زایی موثر بوده‌اند. ۵) ساخت‌های رگه– گچه‌ای و برشی (در رگه‌های باریتی و سنگ میزبان) و بافت‌های پرکننده فضای خالی و جانشینی ثانویه که در اغلب کانسارهای فراگرمایی دیده می‌شوند، در ذخیره لپه‌زنک نیز گسترش یافته‌اند [۲۷]. ۶) عمق متوسط کانه‌زایی در لپه‌زنک کمتر از ۲۰۰ متر و مطابق با فشار ۱ تا ۱۸ بار است. ۷) رگچه‌های کلسیتی همراه رگه‌های کوارتزی و به صورت تاخیری در ذخیره لپه زنک (تشخیص داده شده با بررسی‌های میکروسکوپی) در برخی از ذخایر فراگرمایی با سولفیدشدگی پایین تا متوسط گزارش شده اند [۲۸، ۲۹]. ۸) کانی‌سازی باریت در منطقه مورد بررسی همزمان با تشکیل رگه‌های کوارتزی رخ داده که اغلب از ویژگی‌های ذخایر فراگرمایی با سولفیدشدگی متوسط است [۲۲]. ۹) نبود کلسیت به دلیل شستشوی اسیدی قوی سنگ میزبان پیش از ته‌نشست کانسنگ [۳۰]، نبود بافت کوارتز حفره‌ای که در دماهای بالا و pH اسیدی تشکیل می‌شود [۲۹] و نبود کانی‌های کالکوسیت و کوولیت اولیه که از ویژگی‌های بارز ذخایر سولفیدشدگی بالاست [۳۱]، ذخیره لپه‌زنک را از این نوع ذخایر متمایز می‌کند. ۱۰) براساس بررسی‌های انجام شده بر میانبارهای سیال غنی از مایع در کانی کوارتز و سایر کانی‌ها، دمای همگنی سیال کانه‌ساز در همه مراحل تشکیل ذخایر رگه‌ای فراگرمایی با سولفیدشدگی پائین- متوسط کمتر از ۱۰۰ تا ۳۹۰ درجه سانتی-گراد است. همچنین، شوری این سیال‌ها در بخش‌های سطحی این ذخایر به طور معمول کمتر از ۳ درصد وزنی معادل نمک طعام و به صورت محلی و یا متناسب با تغییرات عمق حدود ۶ درصد وزنی معادل نمک طعام است [۳۲، ۳۳]. نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال در ذخیره لپه‌زنک نشان می‌دهد که دمای همگنی سیال کانه‌زا در گستره ۱۰۰ تا ۲۰۷ درجه سانتی‌گراد و شوری ۰/۸۸ تا ۸/۵۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است. این مقادیر با دمای همگنی و شوری ذخایر فراگرمایی با سولفیدشدگی پایین- متوسط همخوانی دارد و قابل مقایسه با ذخایر فراگرمایی بلبلی ۲ [۳۴] و شلنگ [۳۵] در جنوب شرق ایران و نیز قره-چنگل [۳۶] و رشت آباد [۳۷] در کمربند طارم- هشتجین در پهنه البرز غربی- آذربایجان است.

برداشت

مهمترین نتایج به دست آمده از بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و میانبارهای سیال ذخیره لپه‌زنک در پهنه البرز مرکزی عبارتند از:

۱- نفوذ توده‌های آذرین نیمه عمیق با ترکیب میکرومونزودیوریت-گابرو به درون سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری سازند فجن به سن پالئوسن- ائوسن پیشین با تشکیل و گسترش ذخیره مس لپه‌زنک همراه بوده است.

۲- سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی مس در لپه‌زنک واحد آندزیت-تراکی‌آندزیتی بوده که در منطقه ذخیره دستخوش دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک، کربناتی و تا حدی پروپیلیتیک شده است.

۳- کانی‌سازی مس در منطقه لپه‌زنک بصورت رخداد رگه و رگچه‌های کوارتزی در همراهی با مقادیر فرعی باریت و کربنات (کلسیت) دیده می‌شود. کانی‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت و روتیل هستند که با کانی‌های ثانویه چون دیژنیت، کوولیت، مالاکیت و هماتیت همراهی می‌شوند.

۴- بررسی‌های ریز دماسنجی میانبارهای سیال نشان می‌دهند که سرد شدن، آمیختگی و رقیق‌شدگی سیال گرمابی با آب‌های جوی از عوامل بسیار مهم در نهشت کانسنگ مس در ذخیره لپه‌زنک هستند.

۵- رخداد دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک، کربناتی و تا حدی پروپیلیتیک همراه با حضور مجموعه‌های کانیایی دگرسانی چون کوارتز، سریسیت، آلبیت، کائولینیت، ایلیت، پالی‌گورسکیت، کلسیت، کلریت و اپیدوت بیانگر دمای پایین و pH خنثی محلول‌های مسئول کانه‌زایی هستند.

۶- براساس شواهد صحرایی و کانی‌شناسی و بررسی میانبارهای سیال، می‌توان ذخیره مس لپه‌زنک را در رده ذخایر فراگرمایی با سولفیدشدگی پایین- متوسط قرار دارد.

قدردانی

این پژوهش با حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه ارومیه، مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است

که نگارندگان به این وسیله سپاس و قدردانی خود از همه مسئولین را اعلام می‌دارند. نگارندگان، همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[1] Aghanabati A., "*Geology of Iran*", Publications of Geological survey of Iran (2006) 1–485.

[2] Valizadeh M. V., "*Geological investigations of Main intrusions of the Central Alborz*", Internal Reports, Geological survey of Iran (2007).

[3] Gorbani M., "*Introduction to the Economic Geology of Iran*", (2002) 1–655.

[4] Khoie N., "*Copper Deposits in Iran*", (1999) 1–418.

[5] Consulting Engineers of the Tehran Padir., "*Exploration end report of the Cheraghi copper*", (2017) 1–211.

[6] Vahdati Daneshmand S., "*Geology map of East of Tehran with a scale of 1: 100,000*", Geological survey of Iran (1997).

[7] Haghipour H., Vahdati S., "*Geology map of Tehran with a scale of 1: 250,000*", Geological survey of Iran (1986).

[8] Consulting Engineers of the Kan., "*Report of geology map of Lapeh-Zanak with a scale of 1:10000*" (2015).

[9] Bodnar R. J., "*Revised equation and table for determining the freezing point depression of H_2O-NaCl solution",* Geochimica et Cosmochimica Acta 57 (1993) 683–684.

[10] Whitney D. L., Evans B. W., *"Abbreviations for names of rock-forming mineral"*, American Mineralogist 95 (2010) 185–187.

[11] Roedder E., *"Fluid inclusions",* Reviews in Mineralogy 12 (1984) 1–644

[12] Goldstein R. H., Reynolds T. J., *"Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals*", SEPM Short Course Notes 31 (1994) 1–199.

[13] Kerkhof A. M. V. D., Hein U. F., *"Fluid inclusion petrography",* Lithos 55 (2001) 27–47.

[14] Shepherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. M. H., "*Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*", Glasgow and London (1985) 1–239.

[15] Davis D. W., Lowenstein T. K, Spencer R. J., *"Melting behavior of fluid inclusions in laboratory–grown halite crystals in the systems NaCl–H_2O, NaCl–KCl–H_2O, NaCl–$MgCl_2$–H_2O, and NaCl–$CaCl_2$–H_2O",* Geochimica et Cosmochimica Acta 54 (1990) 591–601.

[16] Crawford M., *"Fluid inclusions: Applications to petrology",* Mineral Association of Canada publications, Short Course 6 (1981) 1–304.

[17] Moncada D., Mutchler S., Niebto A., Reynolds T. J., Rimstidt J. D., Bodnar R. J., *"Mineral textures and fluid inclusio petrography of the epithermal Ag-Au deposits*", Journal of Geochemical Exploration 114 (2012) 20–35.

[18] Wilkinson J. J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits*", Lithos 55 (2001) 229–272.

[19] Bakker R. J., "*Package fluids 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modeling bulk fluid properties"*, Chemical Geology 194 (2003) 3–23.

[20] Mehvari R., Shamsipour R., Bagheri H., Noghreyan M., Mackizadeh M. A., *"Mineralogical and fluid inclusion studies in the Kalchueh copper-gold deposit, East of Isfahan*", Iranian Journal of Economic Geology 2 (2010) 47–55.

[21] Seward T. M., "*The hydrothermal geochemistry of gold*", In: Foster, R. P. (ed.), Gold Metallogeny and Exploration, Blakie and Sons Ltd (1991) 1–432.

[22] John D. A., Vikre P. G., Du Bray E. A., Blakely R. J., Fey D. L., Rockwell B. W., Mauk J. L., Anderson E. D., Graybeal F. T., "*Descriptive Models for Epithermal Gold-Silver Deposits*", Scientific Investigations Report (2018) 1–264.

[23] Simmons S. F., White N.C., John D. A., "*Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits*". In: Hedenquist, J. W., Thompson J. F. H., Goldfarband R. J., Richard J. P., (Editors), Economic Geology, 100th Anniversary Volume: 1905–2005., Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado (2005) 485–522.

[24] Hedenquist J. W., Arribas, A., "*Epithermal ore deposits: First-order features relevant to exploration and assessment*", 14th Conference of Mineral Resources to Discovery, The Society for Geology Applied to Mineral Deposits Biennial Meeting, Quebec, Canada (2017).

[25] Rowland J. V., Simmons S. F, "*Hydrologic, magmatic, and tectonic controls on hydrothermal flw, Taupovolcanic zone, New Zealand—Implications for the formation of epithermal vein deposits*", Economic Geology 107 (2012) 427–457.

[26] Ebert S. W., Rye R. O, "*Secondary precious metal enrichment by steam-heated fliuds in the Crofoot-Lewis hot spring gold-silver deposit and*

relation to paleo climate", Economic Geology 92 (1997) 578–600.

[27] Guilbert J., Park F., "*The Geology of Ore Deposits*", Freeman, New York (1997) 530–537.

[28] Smith D. M., Albinson T., Sawkins F. J., "*Geologic and fluid inclusion studies of the Tayoltita silver-gold vein deposit, Durango, Mexico*", Economic Geology 77 (1982) 1120–1145.

[29] Mango H., Arehart G., Oreskes N., Zantop H., "*Origin of epithermal Ag-Au-Cu-Pb-Zn mineralization in Guanajuato*, *Mexico*", Mineralium Deposita 49 (2014) 119–143.

[30] Hedenquist J. W., Arribas A. R., Gonzalez-Urien E., "*Exploration for epithermal gold deposits* in *Hagemann*," S. G., and Brown, P. E., eds., Gold in: Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology 13 (2000) 245–277.

[31] Mehrabi B., Ghasemi Siani M., *"Mineralogy and economic geology of Cheshmeh Hafez polymetal deposit, Semnan Province, Iran*", Iranian Journal of Economic Geology 2 (2010) 1–20.

[32] Yılmaz H., Oyman T., Sönmez F. N., Arehart G. B., Billor Z., *"Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in tertiary subaerial volcanic rocks*", Ore Geology Reviews 37 (2010) 236–258.

[33] Simpson M. P., Palinkas S. S., Mauk J. L., Bodnar R. J., *"Fluid inclusion chemistry of adularia-sericite epithermal Au-Ag deposits of the southern Hauraki Goldfield, New Zealand*", Economic Geology 110 (2015) 763–786.

[34] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A. A., *"Type of mineralization and studies of fluid inclusions of the Bolboli2 copper ore deposit, northeast of Sirjan, SE Iran",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 28 (2020) 329-340 (in Persian).

[35] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A. A., "*Investigation of mineralization, REE geochemistry, and fluid inclusions sudies of the Shalang vein-type polymetallic ore deposit, southwest of Kerman",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (2019) 767-780 (in Persian).

[36] Ghorbani Pour Shokouh H., Abedini A., Alipour S., "*Study of ore mineralization of polymetallic veins of the Qarah Changal area, northwest of Qazvin",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (2021) 221-236 (in Persian).

[37] Ajalli N., Torkian A., Tale Fazel E., "*Intermediate sulfidation epithermal Cu±Au deposit of Rasht Abad (North of Zanjan): Evidence of mineralization, fluid inclusions and C-O stable isotope",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 29 (2021) 207-220 (in Persian).